Kaasuputkiston mitoitus asuinkerrostalossa

Henri Stigell

Examensarbete

Energi- och miljöteknik

2020

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Energi- och miljöteknik
Tunnistenumero:	6509
Tekijä:	Henri Stigell
Työn nimi:	Kaasuputkiston mitoitus asuinkerrostalossa
Työn ohjaaja (Arcada):	Mariann Holmberg
Toimeksiantaja:	Kim Skön

Tiivistelmä:

Opinnäytetyössä tutkittiin laskennallisen mitoituksen periaatteita ja kriteerejä asuinkerrostalon kaasuverkostossa. Työ rajattiin kiinteistön sisäpuolisiin putkistoihin ja siinä käytettäviin laitteisiin ja osiin. Asuinkerrostaloissa käytetty kaasu on tyypillisesti maakaasua. Verkoston mitoitukseen vaikuttavat nimellisteho, suunnittelupaine, käytössä oleva toimituspaine. Kaasujen kokoonpuristuvuuden takia paineen alentuessa, kaasujen olomuoto ja nopeus muuttuvat. Kokoonpuristuvuutta kuvataan kompressibiliteettikertoimella. Tavallisesti alle 10 bar järjestelmissä ei kokoonpuristumisen vaikutusta huomioida. Kaasun virtausnopeuden muutoksien takia kaasujärjestelmä mitoitetaan paineen mukaan. Sallitut painehäviöt ovat enintään 35 mbar käyttöpaineisilla käyttölaitteilla paineenalennuslaitteiston ja käyttölaitteen välillä 3,5 mbar.
Esimerkkikohteen kaasun jakelijan ilmoittama toimituspaine on 20 mbar. Matalasta toimituspaineesta ja esimerkkikohteen suuren koon vuoksi putkikoot valittiin suuriksi. Putkiston suunnittelussa huomioitiin erityisesti verkoston suoraviivaisuus. Aikaisimmin empiirisen mitoituksen perusteella saatuja tietoja kaasuverkoston koko mitoituksesta todettiin vastaavan laskennallisen mitoituksen saamia tuloksia hyvin.

Avainsanat:	Maakaasu, mitoitus, painehäviöt, kokoonpuristuvuus, paineenalennus
Sivumäärä:	44 + 3
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	20.5.2020

SISÄLTÖ

1 Johdanto 6

2 Kaasut ja niiden ominaisuudet 7

2.1 Maakaasu 7
2.2 Nestekaasu 8
2.3 Biokaasu 9
2.4 Ideaalikaasu 10
2.5 NTP-olosuhteet 11
2.6 Moolitilavuus 11
2.7 Kaasuvakio 12
2.8 Kaasujen tiheys 12
2.9 Viskositeetti 14
2.10 Kaasujen syttymisen edellytykset 14
2.11 Kaasujen palaminen ja lämpöarvo 15
2.12 Kaasujen lämpöarvojen vertailu ja Wobbe-indeksi 16
2.13 Kaasujen varastointi ja tilantarve 17
2.13.1 Varastointi 17
2.14 Kaasujen kokoonpuristuminen 18
2.14.1 Kompressibiliteettikerroin 19

3 Mitoitus 20

3.1 Mitoittava kaasumäärä 20
3.2 Verkoston painehäviöt ja virtausvastukset 21
3.2.1 Kokonaispainehäviö 21
3.3 Putken painehäviö kokoonpuristuvilla aineilla 22
3.4 Virtausvastuksesta aiheutuvat painehäviöt ja virtausvastuskerroin 24
3.4.1 Virtausvastuskerroin 24
3.5 Kertavastuksista aiheutuvat painehäviöt 26
3.5.1 Verkoston korkeuserosta johtuvat painehäviöt 27

4 Kaasuputkiston materiaalit, tarvikkeet ja asennus 28

4.1 Putkimateriaalit ja tarvikkeet 28
4.1.1 Kaasumäärämittarit 28
4.1.2 Paineensäätimet 29
4.1.3 Sulkuventtiilit 29
4.1.4 Paineenalennus 30

5 Esimerkkikohteen kaasuputkiston mitoitus 31

5.1 Taustat ... 31
5.2 Mitoituslaskennan kulku ... 31
5.2.1 Verkoston tulopaine ... 32
5.2.2 Verkoston säätöpaine ... 32
5.3 Mitoituskaasumäärän laskeminen ... 32
5.4 Putkiverkoston suunnittelu ... 33
5.5 Putkiverkoston painehäviöt ... 34
5.5.1 Kitkavastuksen aiheuttamat painehäviöt ... 34
5.5.2 Kertavastukset ... 35
5.5.3 Korkeuserosta johtuvat painehäviöt ... 36
5.5.4 Putkien kokomitoitus ... 37
5.5.5 Paineenalennuslaitteisto ... 37
5.5.6 Kaasun määrämittaus ... 37
5.5.7 Putkivarusteet ... 38
6 Johtopäätökset ... 39
7 Sammandrag ... 40
Lähteet ... 43
Liitteet ... 45

Kuvat

Kuva 1.[4, s.45]. Esimerkkejä sulkuventtiilien sijoittamisesta..... 29
Kuva 2. [4, s.58]. Esimerkki paineensäätö- ja määrämittauslaitteiden kytkennästä sekä varusteista. 30
Kuva 3. Linjan K20 kokonaispainehäviö. 34
Kuva 4. Linjan K23 kokonaispainehäviö. 34
Kuva 5. Linjan K20 virtausvastuksista johtuvat painehäviöt. 35
Kuva 6. Linjan K23 virtausvastuksista johtuvat painehäviöt 35
Kuva 7. Linjan K20 kertavastuksista johtuvat painehäviöt 35
Kuva 8. Linjan K23 kertavastuksista johtuvat painehäviöt 35
Kuva 9. Laskennassa käytettyjä putkiosien kertavastuskertoimia..... 36
Kuva 10. Linjan K20 korkeuserosta johtuvat painehäviöt 36
Kuva 11. Linjan K23 korkeuserosta johtuvat painehäviöt 36
Kuva 12. Nousulinjojen tarkastelu laskentatyökalulla 45
Kuva 13. Nousulinjan K23 painehäviölaskenta laskentatyökalulla. 46
Kuva 14. Linjan K20 painehäviölaskenta laskentatyökalulla 47

Taulukot

Taulukko 1. Maakaasun ominaisuuksia 7
Taulukko 2. Nestekaasun ominaisuuksia 9
Taulukko 3. Esimerkkejä kaasujen syttymisalueista ja -lämpötiloista 14
Taulukko 4. Maakaasun tilantarpeen riippuvuus paineesta 18
Taulukko 5. Maakaasun tilantarpeen riippuvuus lämpötilasta 18
Taulukko 6. Maakaasun kompressibiliteetikerroin alle 10 bar paineissa 19
Taulukko 7. Putken sisäpinnan karheus materiaalittain 26

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä asuinrakennuksissa käytettyjen maakaasuputkistojen ja niissä käytettävien kaasujen ominaisuuksiin sekä syventyä putkiston mitoituksen periaatteisiin. Ala pohjautuu pitkälti putkiston empiiriseen mitoitustapaan, eikä tietoa laskennassa käytettävistä kriteereistä ei ole helposti löydettävissä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on auttaa ymmärtämään kaasun käyttäytymistä verkostossa ja antaa lukijalle tietoa laskentaan pohjautuvaan rakennuksen sisäpuolisen putkiston kokomitoitukseen. Kaasuverkoston suunnittelu tuntuu nykypäivänä olevan harvinainen ammattitaito, jonka vain pieni osa LVI-alalla hallitsee.

Työssä on tarkoitus mitoittaa esimerkkikohteen linjasaneerauksen yhteydessä uusittava kaasuputkisto, jonka käyttölaitteina toimivat kotitalouden kaasuliedet. Lukijalle on tarkoitus tuoda laskentaan perustuvaa tietoa tavanomaisen empiirisen mitoitustavan rinnalle ja antamaan kriittisimmät tiedot käytännössä toteutuvien ratkaisujen hahmottamisessa.

Työ on tarkoitus rajata asuinkerrostalon sisäpuolisen putkiston mitoitukseen. Työssä huomioidaan kaasuverkosto vain mitoitusteknisestä näkökulmasta eikä oteta kantaa putkiston, laitteiston tai osien kustannuksiin.

Työn toisessa luvussa tarkastellaan kaupungin kaasuverkostossa käytettäviä kaasuja ja yleisiä ominaisuuksia sekä pyritään antamaan kuva kaasujen käyttäytymisestä yleisellä tasolla. Luvussa käsitellään tyypillisimmin käytössä olevat kaasutyypit, kaasujen tilayhtälöt, kokoonpuristuminen sekä kaasujen varastointiin ja palamiseen liittyvät ominaisuudet. Kolmannessa luvussa paneudutaan kaasuputkiston mitoitukseen liittyviin periaatteisiin ja niihin vaikuttaviin seikkoihin. Luvussa käsitellään verkoston mitoittamisen kannalta keskeisimmät mitoituskriteerit ja annetaan tietoa laskennassa tarvittavista vaiheista ja kaavoista. Työn neljännessä luvussa tarkastellaan asuinrakennuksen yleisimpiä ja tärkeimpiä kaasuputkiston osia ja tarvikkeita. Tarkoituksena on saada yleiskuva käytettävistä putkimateriaaleista, paineensäätimistä, paineenalennuksesta ja tarvittavista tarvikkeista sekä niiden sijoittamisesta. Luvussa viisi käydään läpi esimerkkikohteen

mallimitoitus ja laskennassa käytetyt kaavat. Lopuksi kerätään yhteen löydetyistä tiedoista ja haastatteluista saadut tiedot ja pohditaan niiden merkitystä esimerkkikohteen laskennallisen mitoituksen tuloksiin.

2 KAASUT JA NIIDEN OMINAISUUDET

Kaupungin kaasuverkostossa oleva kaasu on pääosin maakaasua. Maakaasua tuodaan Suomeen Venäjältä tai Virosta. Venäjältä tuotu maakaasu on puhdasta ja lähes yksinomaan metaania (CH_4). Venäjältä Suomeen tuotava maakaasu kuljetetaan maahan Imatralla sijaitsevan kompressoriaseman kautta, josta kaasu siirretään siirtoputkistossa muualle Suomeen. Kaasuverkosto on keskittynyt suurimmaksi osaksi eteläiseen Suomeen. Siirtoputkiston paine on tyypillisestä 30-54 bar. Virosta tuotu maakaasu tulee meren pohjassa kulkevaa kaasuverkostoa pitkin Suomenlahden yli. Merenpohjassa olevan kaasuputkiston suunnittelupaine on 80 bar [11].

2.1 Maakaasu

Fossiilisiin polttoaineisiin kuuluvaa maakaasua löytyy luonnosta suoraan sellaisenaan. Maakaasukentät ovat syntyneet luonnossa pitkän ajanjakson aikana erilaisten biomassojen hajoamisprosessien ja lämmön seurauksena [12].

Maakaasua esiintyy syvällä maankuoressa muutaman kilometrin syvyydestä sekä maalla että merellä. Luonnonkaasu on usein lähes yksinomaan metaania >98 % (taulukko 1) mutta voi sisältää pieniä pitoisuuksia myös muita hiilivetyjä, kuten etaania ja joissakin tapauksissa typpeä tai heliumia. Maakaasun pääkomponentti metaani (CH_4) on ilmassa hitaasti hajoava.

Taulukko 1. Maakaasun ominaisuuksia

Koostumus		Metaani	CH_4	98 %	
		Etaani	C_2H_6	<1 %	
		Typpi	N_2	>1 %	

Molekyylipaino		Metaani	CH_4	16,04	kg/kmol
		Etaani	C_2H_6	30,07	kg/kmol
		Typpi	N_2	28,00	kg/kmol
Tiheys normaaliolosuhteissa P_0 = 1,01325 bar T_0 = 273,15 K	ρ			0,723	kg/m_n^3
Lämpöarvo, alempi	H_u			35,6	MJ/m_n^3
				9,89	kWh/m_n^3
Dynaaminen viskositeetti	η	0 °C		$10,3 \cdot 10^{-6}$	Pa s
		20 °C		$11,0 \cdot 10^{-6}$	Pa s
		40 °C		$11,7 \cdot 10^{-6}$	Pa s
Kinemaattinen viskositeetti (T = 20°C, P = 1 bar, abs.)	υ			$16,7 \cdot 10^{-6}$	m^2/s
Syttymisrajat				4,4-17 vol–%	
Itsesyttymislämpötila				595 °C	

2.2 Nestekaasu

Nestekaasu on yleisimmin propaania tai propaanin ja butaanin seos, jonka pääkomponenttina toimii kuitenkin propaani (taulukko 2). Propaanin kiehumispiste on –42 °C ja sen kriittinen lämpötila T_k = 97 °C. Propaanin korkea kriittinen lämpötila mahdollistaa propaanin helpon varastoinnin ja kaasun pysymisen nestemäisessä olomuodossa [10].

Nestekaasua (LPG = Liquefied Petroleum Gas) käytetään monissa teollisuuden sovelluksissa ja laitteissa, kuten posliinien polttoprosesseissa, polttokaasupolttimissa ja autojen ja trukkien polttoaineena. Nestekaasulla on runsaasti eri käyttösovelluksia myös kotitalouksissa ja niitä käytetään muun muassa monissa lämmityslaitteissa ja grilleissä.

Nestekaasua syntyy polttoaineteollisuuden sivutuotteena pieniä määriä. Lopputuotteen valmistus vaati kuitenkin runsaasti jalostusta. Jatkojalostuksessa käytetään tislausta, reformointia sekä ennen kaasujen talteenottoa niistä poistetaan rikki [3, s.4].

Taulukko 2. Nestekaasun ominaisuuksia

Koostumus		Propaani	C_3H_8	98%	
		Butaani	C_4H_{10}	<2%	
Molekyylipaino		Propaani	C_3H_8	44,10	kg/kmol
		Butaani	C_4H_{10}	58,12	kg/kmol
Tiheys normaaliolosuhteissa P_0 = 1,01325 bar T_0 = 273,15 K	ρ			2,01	kg/m_n^3
Lämpöarvo, alempi	H_u			93,6	MJ/m_n^3
				26,0	kWh/m_n^3
Kinemaattinen viskositeetti (T = 20°C, P = 1 bar, abs.)	υ			$4{,}4 \cdot 10^{-6}$	m^2/s
Syttymisrajat				2–10 vol–%	
Itsesyttymislämpötila				470 °C	

2.3 Biokaasu

Biokaasua syntyy, kun erilaista biomassaa mädätetään hapettomassa tilassa. Biokaasua syntyy luonnollisesti muun muassa soilla. Luonnollisesta hajoamisprosessista saatua biokaasua jatkojalostetaan ja lopputuotteeksi saadaan maakaasuverkostoon sopivaa kaasua. Biokaasu on kaasuseos, jonka metaanipitoisuus on normaalisti yli 60 % luokkaa. Kaasuseoksen loppuosa on pääasiallisesti hiilidioksidia sekä pieniä määriä vettä, typpeä, vetyä, ammoniakkia ja rikkivetyä. Jatkojalostuksessa viimeksi mainitut saadaan kuitenkin poistettua [19].

Uusiutuvaa energiaa edustavan biokaasun valmistukseen soveltuvat monet biohajoavat materiaalit, joita saadaan paikallisesti muun muassa biojätteistä ja jätevesistä. Kaatopaikoilta talteen otettu jatkokäyttöön suunnattu biokaasu vaikuttaa positiivisesti myös

kasvihuonekaasupäätöihin. Kaatopaikkakaasusta käytetään lyhennettä LFG (Landfill Gas) [18].

2.4 Ideaalikaasu

Kemiassa käytetään teoreettista ideaalikaasua kuvaamaan reaalikaasujen käyttäytymistä ja niiden ominaisuuksia. Ideaalikaasun teorialla pystytään selittämään useimpien kaasujen käyttäytyminen. Luonnossa esiintyvät kaasut ovat reaalikaasuja, joiden ominaisuudet kuitenkin eroavat ideaalikaasusta. Ideaalikaasun esittämästä mallista poiketen reaalikaasuilla on muun muassa omanlainen molekyylirakenne. Ideaalikaasulla pystytään kuvaamaan reaalikaasuja monissa tapauksissa riittävän tarkasti. Mallin antaman kuvauksen tarkkuuteen vaikuttavat paine ja lämpötila [17, s.14].

Ideaalikaasua kuvataan tyypillisesti kolmella tilayhtälöllä. Nämä ovat Gay-Lusssacin, Charlesin ja Boylen lait. Näistä ensimmäinen kuvaa tilannetta, jossa prosessi on isobaarinen, toinen kuvaa prosessia, joka on isokoorinen ja viimeinen prosessia, joka on isoterminen.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \qquad (1)$$

Isobaarinen prosessi.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (2)$$

Isokoorinen prosessi.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \qquad (3)$$

Isoterminen prosessi.

Todellisuudessa kaasujen paineen kasvaessa ne eivät enää noudata ideaalikaasun teorian mukaista tilayhtälö, vaan puristuvat enemmän kokoon. Käytännön sovelluksissa, joissa paine on korkea, on tärkeää huomioida kaasujen tilayhtälön kuvaamasta tilavuuden muutoksesta poiketen niiden kokoonpuristuminen [5, s.258]

Tämä voidaan laskea kaavalla:

$$\rho V_r = Z R_i T \qquad (4)$$

jossa

ρ = kaasun tiheys lämpötilassa T, [kg/m^3]

V_r = kaasun tilavuus, [m^3]

R_i = kaasuvakio, 8,314 J $K^{-1}mol^{-1}$

T = kaasun lämpötila, [K]

Z = kaasun kompressibiliteettikerroin

2.5 NTP-olosuhteet

Kaikilla reaalikaasuilla on niille tyypillinen koostumus. Kemiassa ominaisuuksia verrattaessa ja samanlaisten vertailuolosuhteiden aikaansaamiseksi on sovittava vakio paine ja lämpötila. Kaasun lämpötila ja paine vaikuttavat merkittävästi niiden ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen. Vertailukelpoisen tilanteen luomiseksi käytetään NTP-olosuhteita (Normal Temperature and Pressure), joiden mukaan absoluuttiseksi paineeksi on sovittu 101,325 kPa ja lämpötilaksi 0 °C.

Italialaisen kemistin Amedeo Avogadron vuonna 1811 luoman hypoteesin mukaan kaikilla kaasuilla on samoissa olosuhteissa ja tilavuudessa sama määrä molekyylejä. Tästä syystä kaasujen massat voidaan laskea niiden moolipainoja ja standardia kaasutilavuutta käyttäen [20].

2.6 Moolitilavuus

Standardin moolitilavuuden määritelmä tarkoittaa sitä tilavuutta, joka on yhdellä moolilla ideaalikaasua NTP-olosuhteissa. Tämä voidaan laskea seuraavasti kaavalla:

$$V_m = \frac{nRT}{P} = \frac{\left(1\ \text{mol} \cdot 8{,}314\ \frac{\text{J}}{\text{K mol}} \cdot 273{,}15\ \text{K}\right)}{101325\ \text{Pa}} = 0{,}022414\ \text{m}^3 \qquad (5)$$

jossa

V_m = standardi moolitilavuus, [m^3]

n = ainemäärä, [mol]

R = moolinen kaasuvakio, [J/K mol]

P = kaasun paine NTP-olosuhteissa, [Pa]

T = lämpötila NTP-olosuhteissa, [K]

2.7 Kaasuvakio

Kemiassa käytetään kokeellisesti määriteltyä luonnonvakiota ilmaisemaan ideaalikaasun tilavuuden riippuvuutta lämpötilaan, paineeseen ja ainemäärään. Tätä vakiota kutsutaan kaasuvakioksi (R). Kaasuvakio on arvoltaan 8,314 (J $K^{-1}mol^{-1}$). Kaasuvakio voidaan laskea ihannekaasun olotilayhtälön avulla:

$$R = \frac{PV_M}{T} = \frac{101{,}325\ \text{kPa} \cdot 22{,}414\ \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}}{273{,}15\ \text{K}} = 8{,}314\ \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \qquad (6)$$

jossa

R = kaasuvakio 8,314 J $K^{-1}mol^{-1}$

P = paine, NTP-olosuhteissa, 101,325 kPa

V_M = standardi moolitilavuus, 22,414 dm^3/mol

T = kaasun lämpötila NTP-olosuhteissa, 273,15 K

2.8 Kaasujen tiheys

Kaasuilla tapahtuva lämpölaajeneminen on voimakkaampaa kuin nesteillä. Paine ja lämpötila vaikuttavat kaasujen tiheyteen. Kaasun tiheys voidaan laskea moolimassan (M) ja standardin moolitilavuuden (V_M) suhteesta seuraavasti NTP-olosuhteissa:

$$\rho = \frac{M}{V_M} \qquad (7)$$

jossa

ρ = kaasun tiheys, [kg/m^3]

M = kaasun moolimassa, [g/mol]

V_M = standardi moolitilavuus, [dm^3/mol]

Kaasusovelluksissa on tärkeää tietää järjestelmässä käytettävien kaasujen suhde ympäröivään ilmaan, tarkemmin ilman tiheyteen. Tämän avulla voidaan arvioida kaasun käyttäytymistä mahdollisen vaaratilanteen sattuessa [3, s.11].

Suhde voidaan laskea kaavalla:

$$\rho_{spec} = \frac{\rho}{\rho_{ilma}} \qquad (8)$$

jossa

ρ_{spec} = verrattavan kaasun suhteellinen tiheys

ρ = verrattavan kaasun tiheys, [kg/m^3]

ρ_{ilma} = ilman tiheys NTP-olosuhteissa, 1,293 kg/m^3

Todellisuudessa kaasun tiheys muuttuu merkittävästi varsinkin pitkissä verkostoissa, joissa painehäviöt ovat suurempia. Tiheyden muutos voidaan kuvata lämpötilan ja paineen funktiona [1, s.7]:

$$\rho = \frac{P}{P_0}\frac{T_0}{T}\rho_0 \qquad (9)$$

jossa

ρ = kaasun todellinen tiheys paineessa P ja lämpötilassa T, [kg/m^3]

ρ_0 = kaasun tiheys normaaliolosuhteissa, [kg/m^3]

P = absoluuttinen paine, [bar]

P_0 = normaalitilan paine, 1,01325 bar

T_0= normaalitilan lämpötila, 273,15 K

T = kaasun lämpötila, [K]

2.9 Viskositeetti

Tyypillisesti putkiverkostoa mitoittaessa on tärkeää tietää virtaavan aineen kyky vastustaa virtausta eli sen viskositeetti. Virtaavan aineen viskositeettiä tarvitaan putkiverkoston osien painehäviölaskelmissa. Viskositeetti on riippuvainen olosuhteista, joissa aine virtaa, toisin sanoen sen lämpötilasta ja paineesta. Kun kaasun lämpötila nousee, kasvaa myös sen viskositeetti. Puolestaan paineen kasvaessa kaasujen viskositeetti pienenee.

Kaasujen kinemaattinen viskositeetti voidaan laskea kaavalla:

$$\upsilon = \frac{P_0}{P}\upsilon_0 \qquad (10)$$

jossa

υ = kinemaattinen viskositeetti paineessa P, [m^2/s]

P_0 = normaaliolotilan paine, 1,01325 bar

P = kaasun absoluuttinen paine, [bar]

υ_0 = kinemaattinen viskositeetti normaaliolotilassa, [m^2/s]

2.10 Kaasujen syttymisen edellytykset

Kaikilla kaasuilla on niille tyypilliset syttymisolosuhteet. Kaasujen syttyminen on mahdollista vain kyseiselle kaasuseokselle ominaisella kaasun ja ilman sekoitussuhteella sekä syttymisen mahdollistavalla vähimmäislämpötilalla (taulukko 3). Potentiaaliset syttymisalueet ovat usein varsin pieniä [3, s.13].

Taulukko 3. Esimerkkejä kaasujen syttymisalueista ja -lämpötiloista

	Syttymisalue, [vol–%]	Syttymislämpötila, [°C]
Maakaasu	5-14	600-650
Metaani	3-10	500
Vety	4-70	570

Useimmat kaasupolttimet asuinrakennuksissa käyttävät kaasujen palamiseen ympäröivää ilmaa. Tällaisia polttimia kutsutaan atmosfääripolttimiksi. Atmosfääripolttimet ovat toiminnaltaan erittäin yksinkertaisia ja soveltuvat käytettäväksi useilla tehoalueilla [2, s.54–55].

Palamisilman koostumuksen muokkaamisella saavutetaan leveämpi syttymisalue. Ilman koostumus on yksinkertaisuudessaan 21 % happea ja 79 % typpeä. Ilma sisältää todellisuudessa useita muitakin kaasuja sekä pieniä määriä vesihöyryä. Syttymisalueen kasvattamiseksi voidaan palamisilmaan lisätä puhdasta happea.

Kaasujen syttyminen voidaan estää myös kokonaan, inertoimalla. Inertoinnilla tarkoitetaan sitä, että tilaan, jossa palaminen tapahtuu, lisätään inerttikaasua, joka ei reagoi kemiallisesti sitä ympäröivien aineiden kanssa. Näitä ovat kaikki jalokaasut, typpi ja hiilidioksidi. Tyypillinen inerttikaasun käyttökohde on hitsauksessa käytetyt suojakaasut. Asuinkiinteistöissä verkoston turvallistamisen yhteydessä, putkisto huuhdellaan inertillä kaasulla, typellä [13].

2.11 Kaasujen palaminen ja lämpöarvo

Palaminen tarkoittaa kemiallista reaktiota, jossa palava aine reagoi hapen kanssa vapauttaen lämpöenergiaa. Palamiseen tarvitaan aina happea. Maakaasun palamisen, kuten muiden hiilivetyjen, reaktiotuotteina syntyy hiilidioksidia ja vettä. Hiilivetyjen täydelliseen palamiseen tarvittavaa ilmaa, tarvitaan usein enemmän kuin teoreettinen laskenta antaa. Palamiseen käytettävän todellisen ilmamäärän ja teoreettisesti laskettavan ilmamäärän välistä suhdetta kutsutaan ilmakertoimeksi [5, s.485−487].

Maakaasun palamisreaktio:

$$CH_4 + 2\ O_2 \longrightarrow CO_2 + 2\ H_2O$$

Reaktioyhtälöstä nähdään suoraan metaanin palamiseen tarvittavan hapen suhde sekä reaktiotuotteiden suhteet poltettavaan metaaniin.

$$\begin{array}{ccccccc} CH_4 & + & 2\,O_2 & \longrightarrow & CO_2 & + & 2\,H_2O \\ 1\text{ mol} & & 2\text{ mol} & & 1\text{mol} & & 2\text{ mol} \end{array}$$

Reaktiossa olevien aineiden massat voidaan laskea massasuhdemenetelmällä käyttäen hyödyksi yhdisteiden moolimassoja ja moolisuhteita seuraavasti:

$$\frac{m_{\mathrm{O_2}}}{m_{\mathrm{CH_4}}} = \frac{n_{\mathrm{O_2}} M_{\mathrm{O_2}}}{n_{\mathrm{CH_4}} M_{\mathrm{CH_4}}}$$

$$\frac{m_{\mathrm{CO_2}}}{m_{\mathrm{CH_4}}} = \frac{n_{\mathrm{CO_2}} M_{\mathrm{CO_2}}}{n_{\mathrm{CH_4}} M_{\mathrm{CH_4}}}$$

$$\frac{m_{\mathrm{H_2O}}}{m_{\mathrm{CH_4}}} = \frac{n_{\mathrm{H_2O}} M_{\mathrm{H_2O}}}{n_{\mathrm{CH_4}} M_{\mathrm{CH_4}}}$$

jossa

$m_{\mathrm{O_2}}$ = palamiseen tarvittavan hapen massa, [kg]

$m_{\mathrm{CH_4}}$= poltettavan metaanin massa, [kg]

n_{O2} = palamiseen tarvittavan hapen ainemäärä, [kmol]

$n_{\mathrm{CH_4}}$= poltettavan metaanin ainemäärä, [kmol]

$M_{\mathrm{O_2}}$ = hapen moolimassa, [kg/kmol]

$M_{\mathrm{CH_4}}$ = metaanin moolimassa, [kg/kmol]

2.12 Kaasujen lämpöarvojen vertailu ja Wobbe-indeksi

Kaasujen lämpöarvot kuvaavat energian määrää, joka vapautuu lämpönä palamisreaktion tapahtuessa täydellisesti aineen massayksikköä kohti ja kun palamistuotteet jäähtyvät 25 °C lämpötilaan. Tavallisesti lämpöarvojen yksikkönä käytetään MJ/m^3 tai kWh/m^3. Lämpöarvoina käytetään kalorimetristä lämpöarvo tai tehollista lämpöarvoa [21, s.28].

Kaasujen koostumusta kuvataan tyypillisesti Wobbe-indeksillä, joka kertoo kaasun soveltuvuuden erilaisiin polttimiin. Seoskaasun Wobbe-indeksi voidaan laskea seuraavasti:

$$W_{0_n} = \frac{H_{brutto}}{\sqrt{\frac{\frac{M}{V_m}}{\rho_{ilma}}}} \qquad (11)$$

jossa

W_{0_n} = kaasun Wobbe-indeksi, [MJ/m_n^3]

H_{brutto} = kaasun ylempi lämpöarvo, [MJ/m_n^3]

ρ_{ilma} = ilman tiheys, käytetään vakioarvoa 1,293 kg/m^3

V_m = standardi moolitilavuus, 0,022414 m^3/kmol

M = kaasun moolimassa, [kg/kmol]

Keinotekoisesti Wobbe-indeksiä muuttamalla on mahdollista käyttää tietylle kaasuseokselle suunniteltua poltinta korvaavan kaasuseoksen kanssa sillä edellytyksellä, että tehoyhtälön arvo pysyy vakiona [3, s.41–42].

2.13 Kaasujen varastointi ja tilantarve

Kaupungin kaasuverkossa olevat kaasujärjestelmät käyttävät maakaasua kaasumaisessa olomuodossa. Kaasujen varastointi on haastavaa niiden suuren tilantarpeen vuoksi. Maakaasua varastoidaan nesteyttämällä kaasu tai puristamalla se kasaan suurella paineella. Varsinkin raskaiden ajoneuvojen polttoaineena käytettävä maakaasu on nesteenä.

Nestemäisenä varastoitava kaasu tarvitsee selkeästi pienemmän tilan varastointiin kuin kaasumaisessa olomuodossa oleva kaasu. Tietämällä kaasujen höyrystymislämpötilan ja sitä vastaavan paineen voidaan kaasu nesteyttää [3, s.24].

2.13.1 Varastointi

Maakaasu kuljetetaan putkistoverkostossa paineistettuna paineenvähennysasemille, jossa kaasua lämmitetään ja paine alennetaan ennen jakeluverkostoon siirtämistä.

Kevyille hiilivedyille, kuten maakaasulle, ominaista on niiden matala kiehumispiste. Maakaasulla kiehumispiste on −162 °C, jonka takia kaasun nesteyttäminen vaatii runsaasti energiaa ja sen ylläpitäminen nesteenä vaati puolestaan lämpövuotoja estävää hyvää eristystä.

Taulukko 4. Maakaasun tilantarpeen riippuvuus paineesta

Paine, [bar]	Tilavuus, [dm^3]
1,01325	1000
4	200
40	22,3
300	2,9

Taulukko 5. Maakaasun tilantarpeen riippuvuus lämpötilasta

Lämpötila, [°C]	Tilavuus, [dm^3]
35	1128,13
20	1073,2
0	1000
–26	904,81
–86	685,5
–162	1,7

2.14 Kaasujen kokoonpuristuminen

Kaasut ovat kokoonpuristuvia. Kokoonpuristuessaan kaasut lämpenevät ja jäähtyvät laajentuessaan. Kaasujen olotilamuutoksissa laajentuminen tapahtuu kaasun sisäisen energian avulla. Kompressibiliteettiä ei tavallisesti huomioida matalapaineisia maakaasun käyttöputkistoja laskettaessa johtuen siitä, että kerroin on lähellä arvoa 1, paineen jäädessä alle 10 bar [1].

Taulukko 6. Maakaasun kompressibiliteetikerroin alle 10 bar paineissa

Paine, [bar]	Kompressibiliteettikerroin
2	1
5	0,99
10	0,98

2.14.1 Kompressibiliteettikerroin

Kaasujen kompressibiliteettikerroin kuvaa reaalikaasujen tilanmuutosta ideaalikaasun edellyttämään muutokseen [5, s.258].

Jos tutkittavan kaasun paine, paino ja lämpötila on selvillä, voidaan kompressibiliteettikerroin laskea seuraavasti [17, s.24]:

$$Z = \frac{1}{1 + \frac{P_{avg} 344{,}4 \cdot 10^{1{,}785G}}{T_f^{3{,}825}}} \qquad (12)$$

jossa

P_{avg} = kaasun keskimääräinen paine

T_f = kaasun keskimääräinen lämpötila

G = kaasun painosuhde

Keskimääräinen paine kaasulinjassa lasketaan kaavalla:

$$P_{avg} = \frac{2}{3} \frac{(P_1^3 - P_2^3)}{P_1^2 - P_2^2} \qquad (13)$$

jossa

P_{avg} = keskimääräinen paine, [Pa]

P_1 = käytössä oleva paine, [Pa]

P_2 = säätöpaine, [Pa]

3 MITOITUS

Kaasuputkiston mitoitus perustuu suurelta osin empiiriseen mitoitukseen. Putkisto mitoitetaan käyttämällä mitoitusolosuhteina niitä olosuhteita, joille kaasuputkisto altistuu. Asuinrakennuksissa, joissa kaasuverkosto sijaitsee rakennuksen sisällä ja lämpötila vaihtelut ovat tyypillisesti pieniä voidaan verkoston mitoituslämpötilana käyttää 21 °C.

Kaasuilla virtausnopeuden kasvaessa myös painehäviö kasvaa. Putkessa virtaavan kaasun virtausnopeus ei pysy vakiona, vaan vaihtelee painetason muuttuessa. Tästä syystä kaasuputkiston mitoitusta ei voida tehdä virtausnopeuksien mukaan.

3.1 Mitoittava kaasumäärä

Kaasumäärää laskettaessa tulee huomioida kaikkien käyttölaitteiden yhteisteho. Asuinkerrostalossa tämä tarkoittaa usein kaasuliettä. Mitoittavaa kaasumäärää laskiessa tulee ottaa huomioon myös varaukset ja kaikki yksittäiset kaasulaitteet, joilla on poikkeuksellinen nimellisteho. Näitä ovat muun muassa ammattikeittiöissä käytetyt käyttölaitteet.

On kuitenkin epätodennäköistä, että kiinteistössä olevat kaasuliedet tai muut käyttölaitteet ovat kaikki käytössä samanaikaisesti täydellä teholla. Tästä syystä mitoittavaa kaasumäärää laskettaessa käytetään samanaikaisuuskerrointa. Samanaikaisuuskertoimella lasketaan se mitoittava yhteisteho, joka on todennäköisesti samanaikaisesti käytössä. Tyypillisesti samanaikaisuuskertoimina käytetään arvoja 0,65-0,8 [1, s.19]. Kaasumäärä voidaan laskea kaavalla:

$$Q = \frac{\frac{P_1}{\eta_1} + \frac{P_2}{\eta_2} + \sum \frac{P_x f}{\eta_x} + \frac{P_n}{\eta_n}}{H_u} \qquad (14)$$

jossa

Q = mitoittava kaasutarve, [m^3_n/h]

P_1, P_2, P_x = putkiverkostoon liitettäviä laitetehoja

P_n = varaus (P_n) mahdollista myöhempään kaasuntarvetta varten, [kW]

$\eta_1, \eta_2, \eta_x, \eta_n$ = hyötysuhde

f = kaasun käytön samanaikaisuuskerroin laitetehoille (P_x)

H_u = kaasun tehollinen lämpöarvo, [kWh/m^{3}n]

(maakaasulla H_u = 35,6 [MJ/m^{3}n]

= 9,89 [kWh/m^{3}n]

3.2 Verkoston painehäviöt ja virtausvastukset

Kaasuputkiston mitoitus tapahtuu noudattaen LVI-tekniikan alalla tutuilla virtausopin virtausteknisten laskentakaavojen avulla. Erona esimerkiksi vesiputkien mitoitukseen on kaasun kokoonpuristuvuus, joka tulee huomioida varsinkin suuremmissa verkostoissa paineen ollessa suuri. Kaasuverkostoissa paineenaleneminen putkissa vaikuttaa kaasun olomuotoon sekä virtausnopeuteen [5].

Asuinrakennuksissa olevien käyttölaitteiden, kuten kaasuliedet nimellispaine on 20 mbar. Tällä tarkoitetaan sitä painetta, jolla laitteen kaasunkulutus on määritetty ja jolla laite on suunniteltu toimivaksi [8]. Kaasun käyttölaitteiden tulee kotitalouksissa toimia, kun niiden käytössä oleva paine on 18-25 mbar.

Mikäli käyttölaitteen nimellispaine on enintään 35 mbar, kaasuverkoston painesäätimen ja kaasua käyttävän laitteen välisellä putkiosuudella kokonaispainehäviöitä voi olla enintään 3,5 mbar. Vastaavasti yli 35 mbar nimellispaineisilla laitteilla kokonaispainehäviö paineensäätimeltä käyttölaitteelle saa olla enintään 10 % normaalista käyttöpaineesta [4, s.28].

3.2.1 Kokonaispainehäviö

Painehäviöön vaikuttavat virtaava aine, virtausnopeus, tilavuusvirta, painetaso, korkeusero, lämpötila, verkoston fyysiset ominaisuudet, kuten materiaalit ja poikkipinta-ala sekä järjestelmässä käytetyt muut varusteet ja laitteet, kuten suodattimet ja kaasumittarit. [6].

Verkoston kokonaispainehäviö voidaan laskea:

$$\Delta P_T = \sum P_\lambda + \sum P_\zeta + \Delta P_L + \Delta P_h \qquad (15)$$

jossa

ΔP_T = koko putkiverkoston painehäviöt, [Pa]

$\sum P_\lambda$ = virtausvastuksista johtuvat painehäviöt, [Pa]

$\sum P_\zeta$ = kertavastuksista johtuvat painehäviöt, [Pa]

ΔP_L = kiinteät painehäviöt, [Pa]

ΔP_h = korkeuserosta aiheutuvat painehäviöt, [Pa]

Putkistot koostuvat normaalitilanteissa useista putkiosuuksista, joilla on vaihtelevat putkikoot. Putkikokojen muutoksien takia vaihtelevat myös virtaavan aineen virtausnopeus. Normaaleissa mitoitustapauksissa putkiosat tulee aina laskea erikseen.

3.3 Putken painehäviö kokoonpuristuvilla aineilla

Kokoonpuristuvien aineiden virtausnopeus putkivirtauksessa ei pysy vakiona. Tällä on merkitystä pitkissä verkostoissa, joissa tutkittavana olevan verkoston painetaso on suuri [1].

Painetason ja virtausnopeuden muutos huomioiden kaava voidaan johtaa muotoon:

$$\frac{d}{dP}(\Delta P) = \left(\lambda \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} v^2\right) dL \qquad (16)$$

Kun yhtälö integroidaan painevälille P_1 ja P_2 ja lisätään kertavastuksia kuvaava termi, saadaan kaasuvirtauksen perusyhtälö:

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2} = 0{,}81 \frac{R}{d^5} \left(\lambda L + d \sum \zeta\right) \dot{m}^2 \quad (17)$$

jossa

P_1 = kaasun absoluuttinen lähtöpaine, [bar]

P_2 = kaasun absoluuttinen loppupaine, [bar]

R = moolinen kaasuvakio, 8,314 J/K mol

d = putken sisähalkaisija, [m]

λ = virtausvastuskerroin

l = putken pituus, [m]

$\sum \zeta$ = kertavastusten summa

$\dot{m}$ = kaasun massavirta, [kg/s]

Yhtälö (16) saadaan jatkettua muotoon:

$$P_2 = P_1\sqrt{1 - \lambda \frac{l}{d}\frac{\rho}{2}\, v^2\, z} \qquad (18) \qquad tai \qquad \Delta P = P_1\left(1 - \sqrt{1 - \lambda\ \frac{l}{d}\ \frac{\rho}{2}\ v^2\, z}\right) \qquad (19)$$

jossa

P_1 = absoluuttinen lähtöpaine, [bar]

P_2 = absoluuttinen loppupaine, [bar]

ΔP = painehäviö, [Pa]

λ = putken virtausvastuskerroin

l = putken pituus, [m]

d = putken sisähalkaisija, [m]

ρ = kaasun tiheys virtausolotilassa, [kg/m^3]

v = kaasun virtausnopeus virtausolotilassa, [m/s]

z = kaasun kokoonpuristuvuuskerroin

Jotta kertavastuksista aiheutuvat painehäviöt voidaan laskea kaavoilla (18) ja (19), tulee kertavastuksien painehäviönä käyttää suoran putken ekvivalenttista lisäpituutta.

3.4 Virtausvastuksesta aiheutuvat painehäviöt ja virtausvastuskerroin

Virtausvastuksesta aiheutuvat painehäviöt turbulenttisessä virtauksessa johtuvat virtaavan aineen kitkasta, jonka aiheuttavat virtaavan aineen sisäiset voimat ja putken sisäpinnan karheus [8].

Virtausvastukset putkistossa voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta P_\lambda = \lambda \frac{l}{d} \frac{1}{2} \left(\frac{q_v}{\frac{\pi d^2}{4}} \right)^2 \qquad (20)$$

jossa

ΔP_λ = virtausvastuksesta aiheutuvat painehäviöt, [Pa]

λ = kitkavastuskerroin

l = putkiosuuden pituus, [m]

d = putken sisähalkaisija, [m]

ρ = virtaavan kaasun tiheys, [kg/m^3]

$\left(\frac{q_v}{\frac{\pi d^2}{4}} \right)^2$ = putkessa virtaavan kaasun virtausnopeus tilavuusvirran ja putken poikkileikkauksen pinta-alan funktiona, [m/s]

3.4.1 Virtausvastuskerroin

Aineen virratessa putkistossa muodostuu virtausta vastustavaa pintakitkasta johtuvia voimia. Tätä kuvataan putkivirtauksissa (λ) ja kutsutaan virtausvastuskertoimeksi. Virtausvastuskertoimen (λ) laskemiseen on olemassa monia kaavoja virtaavan aineen virtauslajin mukaan. Virtauslajia kuvaa Reynoldsin luku, joka ilmaisee virtausosien vaikuttavien hitausvoimien ja sisäisenvastustuksen suhteen [6].

LVI-tekniikan alalla yleisimmin käytetty virtausvastuskertoimen laskukaavaa, Colebrook-White kaava, käytetään myös kaasuputkilla:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3{,}7D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \quad (21)$$

jossa

λ = virtausvastuskerroin

ε = putken sisäpinnan karheus, [m]

D = putken hydraulinen halkaisija, [m]

Re = Reynoldsin luku

Virtausvastuskertoimen laskeminen Colebrook-Whiten kaavalla vaatii iteroinnin. Toinen vaihtoehtoinen laskentakaava antaa virtausvastuskertoimen riittävän tarkasti ilman iterointia. Virtausvastuskerroin voidaan laskea myös kaavalla:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{4{,}518}{Re}\log\frac{Re}{7} + \frac{\varepsilon}{3710D}\right) \quad (22)$$

Kaavasta voidaan ratkaista virtausvastuskerroin λ:

$$\lambda = \left(\frac{1}{2\log\left(\frac{4{,}518}{Re}\log\frac{Re}{7} + \frac{\varepsilon}{3710D}\right)}\right)^2$$

jossa

λ = virtausvastuskerroin

ε = putken sisäpinnan karheus, [m]

D = putken hydraulinen halkaisija, [m]

Re = Reynoldsin luku

Sisäpinnan karheudelle voidaan käyttää seuraavia arvoja eri putkimateriaaleille (taulukko 7).

Taulukko 7. Putken sisäpinnan karheus materiaalittain

Materiaali	Sisäpinnan karheus (mm)
Kupariputki	0,0015
Teräsputki	1,000
Muoviputki	0,005

3.5 Kertavastuksista aiheutuvat painehäviöt

Kertavastuksen aiheuttamat painehäviöt putkiverkostossa syntyvät, putkikoon muutoksista, suunnan muutoksista sekä muista osista kuten venttiileistä. Kertavastuksille on kokeellisesti määritetty kertoimia ja niistä on tehty monia julkaisuja käsikirjoissa. Kertavastuksien aiheuttamat painehäviöt voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta P_{\xi} = \sum \xi \frac{1}{2} \rho v^2 \qquad (23)$$

jossa

ΔP_{ξ} = putkiosuuden kertavastuksista johtuva painehäviö, [Pa]

$\sum \xi$ = putkiosuudessa olevien kertavastuksien summa

ρ = putkiosuudessa virtaaman kaasun tiheys, [kg/m^3]

v = putkiosuudessa virtaan kaasun nopeus, [m/s]

Kertavastuksien aiheuttamat painehäviöt voidaan ilmaista ekvivalenttisena pituutena. Ekvivalenttinen pituus sitä suoran putken lisäpituutta, joka vastaa kertavastuksien aiheuttamaa painehäviön osuutta. Tämä voidaan laskea kaavalla:

$$\lambda \frac{\mathrm{l}}{\mathrm{d}} \frac{1}{2} \rho v^2 = \xi \frac{1}{2} \rho v^2 \qquad (24)$$

Kaavasta voidaan ratkaista kertavastuksista ja virtauksesta aiheutunut painehäviö suoran putken lisäpituutena seuraavasti:

$$l = \xi \frac{d}{\lambda} \qquad (25)$$

jossa

l = ekvivalenttinen lisäpituus, [m]

ξ= kertavastuksen aiheuttaman painehäviön kerroin

d= putken sisähalkaisija, [m]

λ = virtausvastauskerroin

3.5.1 Verkoston korkeuserosta johtuvat painehäviöt

Nestemäisillä aineilla korkeuserot vaikuttavat virtauksiin ja paineisiin suuresti. Esimerkiksi veden 10 metriä korkea vesipatsas aiheuttaa noin lähes 100 kPa paineen pelkästään omalla painollaan. Vastaavasti sama 10 metrinä kaasulla, aiheuttaa selvästi pienemmän vaikutuksen kaasujen tiheyden ollessa merkittävästi pienempiä [14].

Korkeuseron aiheuttamat painehäviöt voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta P_S = (\rho_k)\,(h_1 - h_2)\,g \qquad (26)$$

jossa

ΔP_S = staattinen paine-ero, [Pa]

ρ_k = kaasun tiheys virtausolotilassa, [kg/m^3]

$(h_1 - h_2)$ = alku- ja loppupäiden välinen korkeusero, [m]

g = 9,81 m/s^2

4 KAASUPUTKISTON MATERIAALIT, TARVIKKEET JA ASENNUS

4.1 Putkimateriaalit ja tarvikkeet

Kaasuverkoston putkien ja tarvikkeiden vaatimukset on tarkoin kerrottu standardissa *SFS-EN-1775, 2007: Kaasuputkistot rakennuksiin. Maksikäyttöpaine alle 5 bar. Toiminnalliset suositukset*. Asuinkiinteistössä olevien kaasuverkostoissa käytetyt putket täyttyvät standardissa esitetyt vaatimukset ja ovat yleensä laadullisesti standardin esittämää vähimmäiskriteerejä selvästi kestävämpiä. Tämä johtuu asuinkiinteistöjen kaasuverkoston pienestä käyttöpaineesta [9].

Putkina käytetään teräsputkea tai kupariputkea. Putkien liitokset tehdään kovajuottamalla tai hitsaamalla. Lisäksi putkiston täytyy olla ääniteknisesti sellainen, ettei siitä synny haittaa. Tämä tarkoittaa yleensä maksimi virtausnopeutta 20 m/s. Liian suuri virtausnopeus putkistossa aiheuttaa verkostoon värinää, melua sekä mahdollista korroosiota [2].

Käytännössä putkistot pyritään suunnittelemaan niin, että putkivirtauksen maksiminopeus on 10 m/s. Tämä kuitenkin aiheuttaa runkoputkiston kokojen kasvua ja vanhoissa rakennuksissa runkoputket voivat olla DN80-DN150 luokkaa [14].

4.1.1 Kaasumäärämittarit

Kaasulaitos tarjoaa taloyhtiöille ja asukkaalle erilaisia vaihtoehtoja kaasusopimukselle. Tämä vaikuttaa myös kiinteistöön sijoitettaviin kaasumäärämittareihin. Usein taloyhtiöön asennetaan vain päämittari, jonka kautta laskutus tapahtuu.

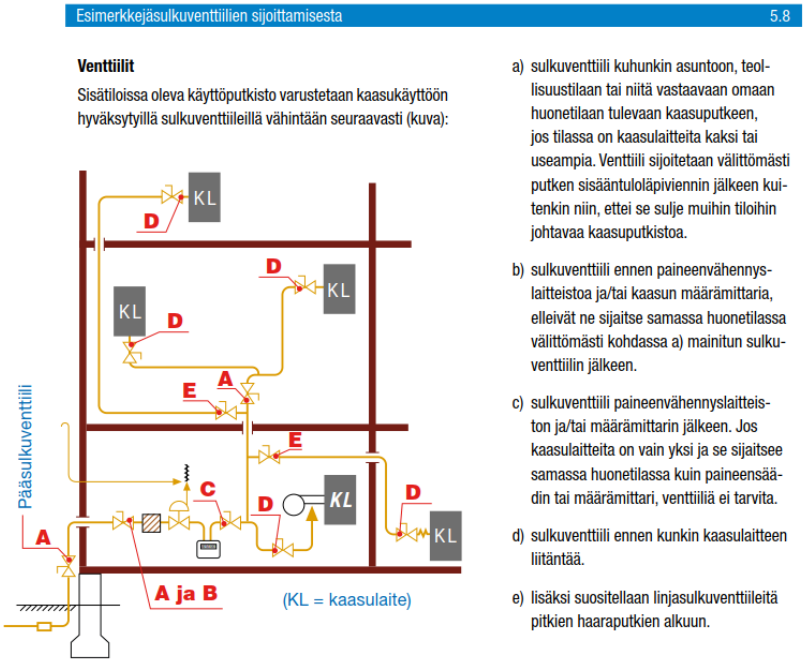
Kaasumittareina on asuinrakennuksissa käytetty Poletti-järjestelmän yhteydessä olevaa paljemittaria. Paljemittarit ovat yksinkertaisia ja riittävän tarkkoja. Nykyään asuntoihin ei juurikaan enää asenneta kaasumittareita, vaan kaasumäärän kulutuksen seuraaminen tapahtuu kiinteistössä olevalle etäluettavalla päämittarilla [16].

4.1.2 Paineensäätimet

Kaasuverkostossa paineensäätimiä käytetään silloin, kun putkisto on selvästi epäsymmetrinen ja esimerkiksi nousulinjojen välille syntyy suuria paine-eroja. Painesäätimet asennetaan verkoston alaosaan paikkaan, jossa ne ovat helposti luokse päästävissä. Paineensäätimiä voidaan käyttää myös poltinkohtaisesti. Kotitalouksissa tämä on kuitenkin harvinaista.

4.1.3 Sulkuventtiilit

Sulkuventtiilien tarve on esitetty maakaasukäsikirjassa. Sulkuventtiilit on syytä asentaa myös sellaisiin paikkoihin, että verkoston huoltaminen on mahdollista osissa ilman laajaa haittaa muille verkoston käyttäjille. Kaikki maakaasun käyttökohteet tulee varustaa pääsulkuventtiilillä, joka sijaitsee rakennuksen ulkopuolella. Yleisesti venttiilityyppeinä käytetään pallosulkuventtiilejä niiden luotettavuuden ja tiiviyden vuoksi.

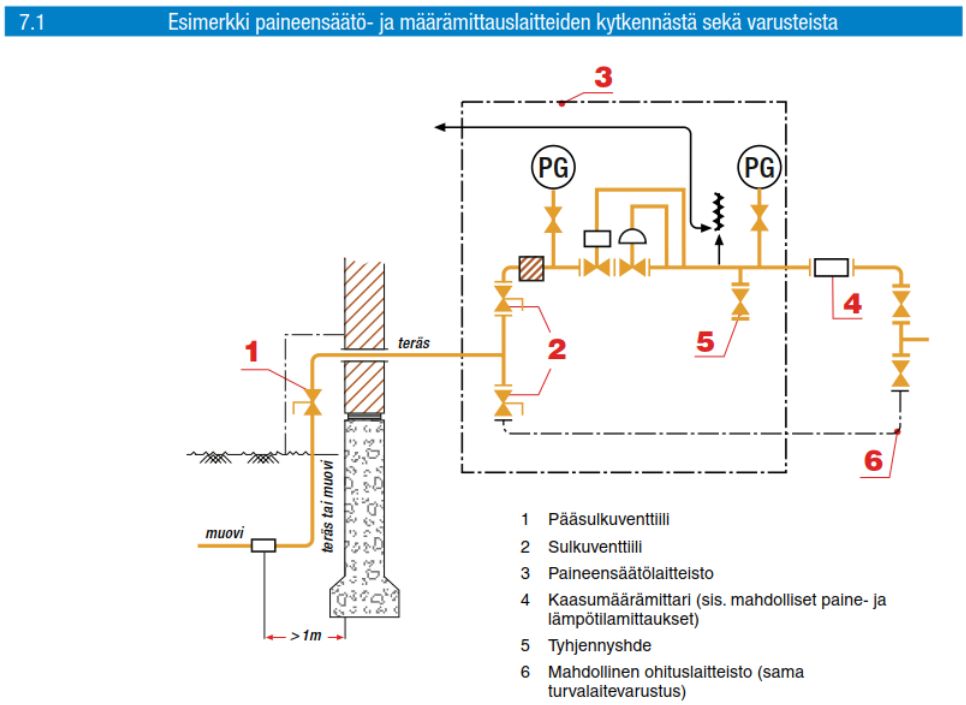


Kuva 1.[4, s.45]. Esimerkkejä sulkuventtiilien sijoittamisesta.

4.1.4 Paineenalennus

Paineenalennuksen tarve määräytyy jakeluverkoston tulopaineen mukaan. Jakeluverkoston paineet vaihtelevat Helsingissä 20 mbar ja 8 bar välillä. Paineenalennuslaitteisto on kokonaisuus, johon kuuluu kaasun tulopaineesta riippuen useita varolaitteita ja osia. Paineenalennuslaitteiston tehtävänä on pitää säätöpaine mahdollisimman tasaisena. Paineenalennus määräytyy standardin SFS-EN-12279: *Kaasuputkistot. Paineenvähennyslaitteistot taloliittymissä*. Toiminnalliset vaatimukset, 2001. mukaan. Kaasun jakelija toimittaa asuinkiinteistön tapauksissa paineenalennuslaitteiston. Paineenalennuslaitteiston voidaan sijoittaa vapaasti joko rakennuksen sisälle tai sen ulkopuolelle tulopaineen ollessa enintään 0,2 bar. Paineenalennuslaitteisto sijoitetaan kiinteistössä niin, ettei laitteistolla aiheudu ulkopuolisesta rasituksesta mekaanista haittaa. Sijoituspaikkana asuinrakennuksissa on usein sillä varattu tila, kuten tekninen tila [2].

Tulopaineen ollessa 200 mbar ja 4 bar välillä täytyy paineenvähennyslaitteisto asuinrakennuksissa sijoittaa, riittävän tiiviiksi todettuun suojakaappiin. Suojakaapista on oltava suora tuuletusyhteys ulkotilaan [4, s.61].



Kuva 2. [4, s.58]. Esimerkki paineensäätö- ja määrämittauslaitteiden kytkennästä sekä varusteista.

5 ESIMERKKIKOHTEEN KAASUPUTKISTON MITOITUS

5.1 Taustat

Työn esimerkkikohteena toimi linjasaneerauksen suunnittelun ohella tehtävä kaasuputkiston uusiminen 6-7 kerroksisessa asuinkiinteistössä, Helsingissä.

Kiinteistössä on olemassa oleva kaasuputkisto, joka halutaan uusia linjasaneerauksen yhteydessä. Kiinteistön ullakolle on rakennettu 80-luvulla ullakkoasuntoja, joihin nykyiset kaasuputket eivät ulotu. Tarkoituksena on uusia kaasuverkosto kokonaisuudessaan ja lisätä kaasuvaraukset myös ullakkoasunnoille.

Kiinteistöön kuuluu kaksi päärakennusta sekä erillinen 2-kerroksinen piharakennus, joissa on yhteensä 115 asuntoa, 2 liiketilaa, 3 työhuoneistoa, autohalli, talosauna ja talopesula.

Kellarikerroksessa sijaitseva nykyinen kaasuliittymä uusitaan ja samalla tarkistetaan runkoputkien riittävyys halutuille lisäyksille. Samalla uusitaan kaasumäärämittari, joka sijaitsee kellarissa samassa tilassa kuin kiinteistön päävesimittari.

Mitoituksessa käytettiin kaasun lämpötilana 21 °C, kinemaattisena viskositeettinä $16{,}7 \cdot 10^{-6}$ m^2/s ja maakaasun moolimassana 16 g/mol.

5.2 Mitoituslaskennan kulku

Kaasuputkiston mitoituksessa tärkeimmät tiedot ovat laitteiden yhteenlaskettu nimellisteho, maksivirtaama, suunniteltu käyttöpaine sekä virtausvastukset.

Helsingissä verkoston tulopaine ja kaasujakelijan määrittämä toimituspaine ovat suuressa asemassa kaasuverkostoa mitoittaessa. Helsingissä olevat kaasuputkistot ovat pääosin vanhoja, joiden takia painetaso on pyritty pitämään mahdollisimman alhaisena. Alhaisen

painetason takia putkiston suoraviivaisuuteen ja vähäisiin putkiosiin kiinnitettiin suunnitteluvaiheessa huomiota.

5.2.1 Verkoston tulopaine

Helsingissä jakeluverkkoa on tyypillisesti kahdella eri paineella 20 mbar ja 4 bar. 4 bar alueella kaasuputkiston mitoittaminen antaa enemmän mahdollisuuksia ja kaasun toimittajalla voi olla mahdollisuus korottaa tai laskea kaasun toimituspainetta tietyn rajan puitteissa.

20 mbar jakelualueella verkoston mitoittaminen muuttuu usein haastavammaksi varsinkin suurissa kohteissa. Usein runkoputkien koot tulevat tästä syystä suuremmiksi. Esimerkkikohde sijaitsee jakelualueella, jossa paine on 20 mbar.

5.2.2 Verkoston säätöpaine

Kun tarvitaan tarkkoja tietoja tietystä kohteesta, on tällöin huomioita tarvittavien asiakirjojen toimittaminen alueen jakelusta vastaavalla yritykselle. Todellisuudessa tämä tarkoittaa valtakirjaa, jolla heidän on mahdollista luovuttaa kiinteistön tiedot suunnittelijan käyttöön. Kaasun jakelijalta saatiin verkoston toimituspaineeksi 20 mbar.

5.3 Mitoituskaasumäärän laskeminen

Mitoittava kaasumäärä laskettiin käyttämällä kaavaa (14). Asunnoissa on nykyisellään kaasuliesiä, joissa on pääosin neljä poltinta sekä uuni. Kaasulieden kokonaistehoksi laskettiin polttimien nimellistehon mukaan 9,6 kW. Laskennassa oletettiin, että myös käyttölaitteen uuni on kaasukäyttöinen. Kaasuliesien hyötysuhde on yleensä 60-70 %. Laskentatapauksessa hyötysuhteen oletettiin olevan 60 %.

Kaasumäärän laskemiseksi oletettiin, että kaasulieden kolme neljästä polttimesta ja uuni oli samanaikaisesti päällä. Tällä saatiin samanaikaisuuskertoimeksi 0,8, jota käytettiin laskennassa. Esimerkkikohteessa suurimpaan osaan asunnoista vietiin ainoastaan varaus, jolloin todellinen kaasutarve kiinteistöllä on selvästi esimerkkimitoitusta pienempi.

Mitoittavaksi tehoksi saatiin:

$$P_{TOT} = \left(\frac{12\ \mathrm{kW}}{0{,}6} + \frac{20\ \mathrm{kW}}{0{,}6} + 113 \cdot \frac{9{,}6\ \mathrm{kW} \cdot 0{,}8}{0{,}6}\right) = 1489\ \mathrm{kW}$$

Mitoittavaksi kaasumääräksi laskettiin:

$$Q = \frac{\frac{P_1}{\eta_1} + \frac{P_2}{\eta_2} + \sum \frac{P_x\, f}{\eta_x} + \frac{P_n}{\eta_n}}{H_u} = \frac{\left(\frac{12\ \mathrm{kW}}{0{,}6} + \frac{20\ \mathrm{kW}}{0{,}6} + 113 \cdot \frac{9{,}6\ \mathrm{kW} \cdot 0{,}8}{0{,}6}\right)}{9{,}9\ \mathrm{kWh/m^3}} = 150{,}58\,\frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{h}}$$

5.4 Putkiverkoston suunnittelu

Kellarikerroksessa oli runsaasti olemassa olevaa tekniikka, joten putkien reititykset pyrittiin tekemään mahdollisimman paljon nykyisiä reittejä hyödyntäen. Rakennuksessa välipohjarakenne oli vaihteleva sekä kerrosten välisten palkistojen sijainnit vaihtelivat kerroksesta toiseen, joten koettiin parhaaksi suunnitella hankalat paikat olemassa olevien nousujen mukaan.

Suunnittelun alkuvaiheessa oltiin yhteydessä kaasulaitokseen, josta pyydettiin päälinjauksia suunnitteluun. Putkisto suunniteltiin alun perin kupariputkesta käyttäen puristusliitoksia, pois lukien kaikki rakenteissa olevat putket sekä runkoputkistot, joiden liitokset määriteltiin tehtäväksi juotosaineella kapillaariosin. Kaasunousuja kiinteistön suuren koon vuoksi tuli 26 kappaletta.

Kiinteistön kellarikerroksessa ja autohallissa olevat runkolinjat ovat pitkiä ja korkeuseroa putkiston matalimman ja korkeimman kohdan välillä on lähes 23,5 metriä. Pitkien runkoputkivetojen takia verkosto pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman suoraviivaisesti, jotta kertavastuksista aiheutuvat painehäviöt saatiin minimoitua.

Suurista etäisyyksistä ja alhaista säätöpaineesta johtuen putkikoot jouduttiin mitoittamaan suuriksi. Määräysten mukaan, mikäli asuinrakennuksen sisäpuoliset putket ovat kooltaan

yli DN50, on kiinteistöön asennettava verkoston tyhjennystä varten tyhjennysyhde. Tiheällä asuinalueella sijaitsevan esimerkkikohteelle tämä tarkoitti verkoston tyhjennykseen, toisin sanoen, tuuletukseen tarvittavaa putkea vesikaton yläpuolelle. Koska maakaasu on ilmaa kevyempää, voidaan tyhjennys toteuttaa turvallisesti vesikaton yläpuolelle.

5.5 Putkiverkoston painehäviöt

Kaasuverkoston painehäviölaskelmiin valittiin kaksi nousulinjaa (K20 ja K23), joiden painehäviöt oletettiin suurimmiksi. Painehäviöitä verrattiin, jotta vaikein reitti saatiin varmistettua. Kaasuputkiston painehäviöt jokaiselta putkiosuudelta laskettiin käyttäen kaavoja (15), (20), (22), (23) ja (26).

Linja K20		
Painehäviö linjassa	3,49	mbar
Käyttölaitteen käyttöpaine	20	mbar

Kuva 3. Linjan K20 kokonaispainehäviö.

Linja K23		
Painehäviö linjassa	3,39	mbar
Käyttölaitteen käyttöpaine	20	mbar

Kuva 4. Linjan K23 kokonaispainehäviö.

Laskennan tuloksena saatiin, että suurimman painehäviön kiinteistön kaasuverkossa aiheuttaa linja K20.

5.5.1 Kitkavastuksen aiheuttamat painehäviöt

Kitkavastuksien aiheuttamat painehäviöt laskettiin kaavalla (20) ja (22). Virtausvastuksen aiheuttamiin painehäviöihin vaikutettiin muuttamalla putkikoot selkeästi alkuperäistä oletusta suuremmiksi. Kiinteistössä olevat nykyiset kaasurungot ovat kooltaan myös suuria johtuen siitä, että aikaisemmin käytössä on ollut jo poistunut kaupunkikaasu, jonka tehollinen lämpöarvo on selvästi maakaasua heikompi.

Linja K20
$P(\lambda)_{TOT}$ [mbar]
0,96

Kuva 5. Linjan K20 virtausvastuksista johtuvat painehäviöt.

Linja K23
$P(\lambda)_{TOT}$ [mbar]
0,84

Kuva 6. Linjan K23 virtausvastuksista johtuvat painehäviöt

5.5.2 Kertavastukset

Kaasuverkoston painehäviöt laskettiin kaavalla (23). Kuten monissa vesiputkiston tai ilmanvaihdon mitoitustapauksissa myös kaasuverkoston yksi suurimmista painehäviöiden aiheuttajista ovat putkiosien aiheuttamat kertavastukset.

Linja K20
$P(\zeta)_{TOT}$ [mbar]
1,22

Kuva 7. Linjan K20 kertavastuksista johtuvat painehäviöt

Linja K23
$P(\zeta)_{TOT}$ [mbar]
1,25

Kuva 8. Linjan K23 kertavastuksista johtuvat painehäviöt

Laskennassa käytettiin tekniikan käsikirjoissa yleisesti käytössä olevia kertavastuksien kertoimia.

Käytetyt kertavastukset	
90 asteen kulma, terävä	1,5
T-haara, virtaus läpi	0,1
T-haara, virtaus 90 astetta	1,5
T-haara, virtaus kahteen suuntaan	3
Putkisupistus	0,5
Putkilaajennus	0,4
Letkuliitin	1,5
Palloventtiili, täysaukkoinen	0,1

Kuva 9. Laskennassa käytettyjä putkiosien kertavastuskertoimia

5.5.3 Korkeuserosta johtuvat painehäviöt

Alimman ja korkeimman putkiosan välinen korkeusero verkostossa oli 23,39 m. Korkeuserosta johtuvat painehäviöt laskettiin kaavalla (26).

Linja K20
$P(h)_{TOT}$ [mbar]
1,31

Kuva 10. Linjan K20 korkeuserosta johtuvat painehäviöt

Linja K23
$P(h)_{TOT}$ [mbar]
1,30

Kuva 11. Linjan K23 korkeuserosta johtuvat painehäviöt

5.5.4 Putkien kokomitoitus

Putkien kokomitoitusta jouduttiin muuttamaan laskennan aikana alhaisen painetason takia. Kiinteistön koko nimellistehon käyttöönottaminen ja siihen liittyvien varausten huomioiminen muutti putkirungot suhteellisen suuriksi.

Päärungon kooksi laskettiin Cu64. Laskennalla nousuputkien putkikoiksi saatiin DN40 tai DN32. Myöhemmin kaasuyhtiön antamien suunnitelmiin viittaavien kommenttien mukaan, tämän hetkisen käytön valossa, runkoputkien kooksi riittää Cu35.

5.5.5 Paineenalennuslaitteisto

Esimerkkikohteen maantieteellisen sijainnin takia kaasun jakelijan toimituspaine on niin alhainen, ettei paineenalennuslaitteistoa kohteessa tarvittu. Paineenalennuslaitteiston mitoittaa ja toimittaa kaasuyhtiö. Paineenalennuslaitteistoa tarvitaan usein tapauksissa, joissa jakelualueella oleva paine kaasuverkostossa on 4 bar tai 8 bar.

5.5.6 Kaasun määrämittaus

Asukkaille ei enää asennettu huoneistokohtaisia mittareja. Kiinteistössä asukkailla on käytössään kiinteähintainen kaasusopimus, joten kohde varustettiin ainoastaan yhdelle päämittarilla, jolla kaasuyhtiö seuraa kiinteänsopimuksen laskusta. Aikaisemmin kiinteistössä on ollut käytössä vanhan aikaiset paljemittarit, ja kaasun käyttöä varten polettijärjestelmä. Nämä poistettiin kuitenkin nyt käytöstä eikä tilalle ollut tarpeen enää asentaa uusia mittareita.

Mittaroinnin tarpeesta ja toteutuksesta vastaa pääsääntöisesti alueen kaasuverkoston jakelija. Esimerkkikohteeseen asennettiin etäluettava pääkaasumäärämittari, joka mahdollistaa jatkossa taloyhtiölle jatkossa todellisen käyttöä vastaavan laskutuksen.

5.5.7 Putkivarusteet

Jokainen nousulinja varustettiin sulkuventtiilillä. Jokaiseen asuntoon asennettiin oma sulkuventtiili ennen kytkentää käyttölaitteeseen. Asuntoihin, joissa ei ollut kaasun käyttölaitetta tehtiin järjestelmään varaus läheiseen tilaan. Varaus varustettiin sulkuventtiilillä ja putki tulpattiin tiiviiksi.

Paloalueen läpi kulkiessa putkiin asennettiin sulkuventtiilit paloalueen molemmin puolin. Läpivienti tehtiin rakennesuunnittelijan tekemän palokatkosuunnitelman mukaan.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Esimerkkikohteen laskennallisen mitoituksen tuloksena huomattiin, että määräysten asettamat maksimipainehäviöt mahdollisen paineenalennuslaitteiston ja käyttölaitteen välillä määrittävät putket hyvin suuriksi. Tämä johtuu pääosin siitä, että putkistot ovat Helsingin alueella on vanhoja ja putkien tiiviyttä on vaikea arvioida. Eritoten alueella, jossa toimituspaine on 20 mbar.

Myös kaasuputkiston laskennallisen mitoitusperiaatteiden vaikean löytämisen vuoksi, mitoitus pohjautuu yleensä kokemukseen. Työssä haastateltiin kaasuyhtiö Gasumia, Viafin Gas Oy sekä Suomen kaasuenergiaa. Haastatteluista saadut tiedot osoittautuivat työssä suureen asemaan.

Kaasuverkoston laskennallinen mitoitus tehtiin käyttäen osiltaan kaasuyhtiöltä saatuja kokemusperäisiä ohjeita ja kokomitoituksia. Kokemusperäisen putkimitoituksen antamat pohjatiedot osoittautuivat paikkaansa pitäviksi. Saatavilla olleen matalan paineen takia verkoston suunnitteluun tuli odotettua enemmän haasteita. Putkistosta oli tarpeen pyrkiä poistamaan kaikki ylimääräiset putkiosat ja varusteet, niin hyvin kuin mahdollista, jotta paine saatiin riittämään.

Haastavinta oli löytää mitoituksesta kirjallista varmaa tietoa. Tiedot tuntuivat muuttuvan hieman riippuen mistä lähteestä niitä luki. Ristiriitaisuuksia löytyi muun muassa suositellun virtausnopeuden ja sallittujen painehäviöiden suhteen.

Laskennassa on käytetty virtausopissa yleisestä käytössä olevia laskentakaavoja. Kaasun kokoonpuristumista ei ole laskennassa huomioitu, koska esimerkkikohteen 20 mbar paineella kokoonpuristuvaa on niin pientä, ettei se merkittävästi vaikuta tuloksiin. Kertavastuksia käytettiin suhteellisen isoja kertavastuskertoimia, jotka aiheuttivat oletettavasti todellisuutta suurempia painehäviöitä.

Työn lopputulos vastasi riittävän tarkasti kokemusperäistä putkimitoitusta. Tarvittavia tietoja ja kaavoja kaasuverkoston kokomitoitukseen onnistuttiin keräämään sen verran, että laskentapohjainen mitoitus on mahdollista tehdä. Kokemuksen kautta saadut tiedot

kaasuyhtiöltä antoivat hyvän pohjan laskennalle. Laskennassa on vaikea arvioida nykypäivänä asuinrakennuksen kaasun käyttötarvetta. Todellisuudessa käytössä olevan kaasulaitteiston käyttö on pienempää kuin mitä laskenta antoi.

Kaasun käyttö on ollut asuintaloissa vähentymään päin jo vuosia. Maakaasun kokonaiskäyttö on vähentynyt vuodesta 2018 vuoteen 2019 5%. Kotitalouksien kaasuliesikäyttäjiä on kuitenkin vielä tälläkin hetkellä yli 25 000 kpl [7].

7 SAMMANDRAG

Syftet med detta examensarbete var att utreda hur man i praktiken omsätter naturgasledningars egenskaper i bostadshus. Målet med arbetet är att dimensionera gasledningar i samband med rörsanering. Syftet med examensarbete är vidare att ge beräkningsinformation baserad på oftast empiriska dimensioneringsmetod och att fungera som ett hjälpmedel när det gäller att skapa praktiska lösningar. Examensarbetet är begränsat till fastighetens rörledningar som endast beaktas ur en teknisk synvinkel.

Gasen som finns i stadens gasnät är huvudsakligen naturgas. Naturgas beaktas som ett fossilbränsle. Naturgas förekommer både på land och till sjöss på ett djup av några kilometer i jordskorpan. Naturgas består främst av metan >98 % men kan innehålla mindre mängder av kolväten, så som etan och i vissa fall kväve eller helium. Biogas produceras genom att olika biomassor bryts ner i syrefattiga förhållanden. Biogas förekommer i naturen t.ex. i myrar. Biogas som tas från naturen och förädlas vidare, så att slutprodukten kan användas i gasnätet. Förnybar biogas produceras när biologiskt material nedbryts så som bioavfall och avloppsvatten. Detta här är lämplig för biogasproduktion.

Inom kemin används en teoretisk idealgas för att beskriva verkliga gasers beteende och deras egenskaper. Teorin om en idealgas kan förklara beteendet hos de flesta gaser. Gas som förekommer i naturen klassas som realgas, vars egenskaper skiljer sig från idealgasen. Idealgasen som presenteras i modellen skiljer sig från realgasen, bland annat har realgasen en unik molekylstruktur. Alla realgaser har en typisk sammansättning. När man jämför gaserna måste man ha ett konstant tryck och temperatur för att kunna jämföra

dem. Temperaturen och trycket på gasen har en betydande effekt på deras egenskaper och beteende. NTP-förhållanden (Normal temperatur och tryck) används för att skapa ett jämförbart förhållande. Termisk expansion av gaser är starkare effekt jämfört med vätskor. Tryck och temperatur påverkar gasens densitet. Vid gasapplikationer är det viktigt att känna till förhållandet mellan de gaser som används i systemet och den omgivande luften, mer specifikt lufttätheten. Detta gör det möjligt att bedöma gasens beteende vid eventuell fara. Vid dimensionering av ett rörnätverk, är det viktigt att känna till vätskans förmåga att motstå flödet, dvs. viskositet. Viskositeten beror på de förhållanden under vilka ämnet flödar, dvs. dess temperatur och tryck. När gasens temperatur stiger ökar dess viskositet. I sin tur minskar gasernas viskositet när trycket ökar. Alla gaser har sina typiska antändningsförhållanden. Tändning av gaser är endast möjlig med ett blandningsförhållande mellan gas och luft som är specifikt för den aktuella gasblandningen och en minimal antändningstemperatur. Förbränning avser en kemisk reaktion där ett brännbart ämne reagerar med syre för att frigöra termisk energi. Syre behövs alltid för förbränning. Reaktionsprodukter av förbränning av naturgas, liksom andra kolväten, producerar koldioxid och vatten. Luftenmängden som krävs för fullständig förbränning av kolväten ofta mer än den teoretiska beräkningen.

Gaslagring är utmanande på grund av deras stora utrymmesbehov. Naturgas lagras genom att kondensera gasen eller komprimera gasen under högt tryck. Gaserna är komprimerbara. Gaserna komprimeras då de värms upp och kyls när gasen expanderar. Vid förändringar i gasernas tillstånd sker en expansion i gasens inre energi. Dimensioneringen av gasledningen baseras sig på empirisk dimensionering. Rörledningen dimensioneras med de konstruktionsförhållanden som gasledningen utsätts för. Flödet för gasen som strömmar i röret förblir inte konstant utan varierar när trycknivån ändras. Vid beräkning av gasmängden måste den kombinerade effekten för alla styrenheter beaktas. Samtidighetsfaktorn används för att beräkna den totala nominella effekten som uppstår.

För bostadshus med t.ex. gasugn är det nominella trycket 20mbar. Trycket som finns mellan gasenheten och gasnätet får höst vara 35mbar. Tryckfallet påverkas av vätska, flödeshastighet, volymflöde, trycknivå, höjdskillnad, temperatur, nätets fysiska egenskaper, såsom material och tvärsnittsarea, och annan utrustning och anordningar som

används i systemet, såsom filter och gasmätare. Tryckförlusterna i det turbulenta flödet beroende på flödesmotståndet beror på friktionen av fluidet orsakat, av fluidens inre krafter och ojämnheten hos rörets inre yta. När ämnet flyter i rörledningen alstras krafter på grund av ytfriktion som motstår flödet. Detta beskrivs i rörflöden (λ) och kallas flödesmotståndskoefficienten. Tryckförlusterna som uppstår i rörnätet orsakas av förändringar i rörstorlek, riktningsförändringar och andra delar såsom ventiler. Ekvivalent längd är den extra längd rör motsvarande andelen tryckfall som orsakas av enstaka motstånd. Höjdskillnader påverkar kraftigt flöden och tryck då det gäller ämnen i flytande form. Till exempel orsakar en 10 meter hög vattenpelare med vatten ett tryck på cirka 100 kPa bara med vätskans egen vikt. På motsvarande sätt orsakar en 10 meter hög gaspelare ett tryck, men dock med mycket mindre effekt på grund av gasens lägre densitet. För att gasen ska flöda måste den strömmande gasens tryck vara högre en atmosfärstrycket.

Rören som används i bostadsbyggnadernas gasnät uppfyller kraven som har satts upp och är i allmänhet betydligt mer hållbara än vad minimikriterierna kräver. Detta beror på det låga driftstrycket i bostadsfastigheternas gasnät. De rör som används är stålrör eller kopparrör. Röranslutningar görs genom lödning eller svetsning. Dessutom får inte rörledningarna orsaka ljud som stör omgivningen. Behovet av tryckminskning beror på distributionsnätets inloppstryck. Distributionstrycket i Helsingfors varierar mellan 20 mbar och 8 bar. Dimensionerings resultat bestämmer relativt stora rörledningsstorlek på grund av låg trycknivå.

Gasföretaget Gasum, gasservice- och underhållsföretaget Viafin Gas Oy och finsk gasenergi intervjuades i examensarbetet. Informationen som erhållits från intervjuerna visade sig vara av stor betydelse på examensarbetet. Vid dimensioneringen av gasnätet utfördes beräkningsdimensioneringen med hjälp av erfarenhet och storleksmätningar från gasföretaget. Största utmaningen var att hålla gas trycket så lågt som möjligt för att uppnå de normer som gasbolagen hade satt upp. Det mest utmanande var att hitta tillförlitlig litteratur om dimensionering. Informationen verkade förändras lite beroende på vilken källa du läste den från. Motstridig information hittades i fråga om rekommenderade flödeshastigheter och tillåtna tryckförluster.

LÄHTEET

[1] Riikonen Arto, elokuu 1989. Maakaasun jakelu- ja käyttöputkistojen mitoitus. Julkaisu M18.

[2] Riikonen Arto, tammikuu 1998. Kaasun käyttökohteiden putkistot sekä käyttölaitteiden sijoittaminen ja varustelu. Julkaisu M3, 3. painos.

[3] Riikonen Arto, heinäkuu 1993. Maakaasun ja nestekaasun koostumus ja ominaisuudet. Julkaisu M1, 2. painos.

[4] Suomen kaasuyhdistys ry. Maakaasukäsikirja 2014. Luettavissa: https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/, luettu 10.4.2020.

[5] Henrik Alvarez och studentlitteratur 1990, 2006. Energiteknik del 1.

[6] Metropolia 2009. Putkivirtaus. Luettavissa: https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/4.+Putkivirtaus. Luettu: 1.4.2020.

[7] Suomen kaasuyhdistys ry, 5. toukokuuta 2020. Vuoden 2019 kaasutilastot julkaistu. Luettavissa: https://www.kaasuyhdistys.fi/vuoden-2019-kaasutilastot-julkaistu/. Luettu: 5.5.2020.

[8] Maakaasuasetus 1058/1993. Luettavissa: https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1993/19931058. Luettu: 3.3.2020.

[9] SFS-EN 1775, 2007. Kaasuputkistot rakennuksiin. Maksimikäyttöpaine alle 5 bar. Toiminnalliset suositukset.

[10] Rakennustietosäätiö RTS 2011, tammikuu 2011. Maakaasulämmitys. LVI-ohjekortti 62-10463.

[11] Gasgrid Finland Oy, 2020. Kaasun siirtoverkosto. Luettavissa: https://gasgrid.fi/kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/, luettu 15.4.2020.

[12] Tilastokeskus, 2020. Fossiiliset polttoaineet. Luettavissa: https://www.stat.fi/meta/kas/fossiiliset_pol.html. Luettu: 25.3.2020.

[13] Viafin Gas Oy puhelinhaastattelu, 2020, litteroitu ja liitetty opinnäytetyöhön 24.4.2020.

[14] Viafin Gas Oy sähköpostihaastattelu, 2020, litteroitu ja liitetty opinnäytetyöhön 3.5.2020.

[15] Gasum Oy puhelinhaastattelu, 2020, litteroitu ja liitetty opinnäytetyöhön 22.4.2020.

[16] Suomen kaasuenergia puhelinhaastattelu, 2020, litteroitu ja liitetty opinnäytetyöhön 6.5.2020.

[17] Menon, E.Shashi, 2005. Gas Pipeline Hydraulics. E-kirja. Taylor & Francis Group.

[18] Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, 2020. Biokaasu. Luettavissa: https://biokierto.fi/biokaasu/. Luettu: 17.4.2020.

[19] Gasum, 2020. Miten biokaasua tuotetaan? Luettavissa: https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/miten-biokaasua-tuotetaan/. Luettu: 1.4.2020.

[20] The Editors of Encylopaedia Britannica, 2020. Avogadro's Law. Luettavissa: https://www.britannica.com/science/Avogadros-law. Luettu: 30.3.2020.

[21] Eija Alakangas, Markus Hurskainen, Jaana Laatikainen-Luntama ja Jaana Korhonen, 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT 258. Luettavissa: https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf. Luettu 12.3.2020.

ESIMERKKIKOHTEEN NOUSUT

Kellarin lattiankorko	11,14
Putket lattiasta	2,4

Nousu	Asuntoja	Nousun koko kellar.	Varauksia	Varauksen/ käyttölaitteen teho (Hyötysuhde 60%)	Nousun teho	Nousun virtaama m^3/h (samanaikaisuus 0,8)	Nousun virtaama dm^3/s	korkeusero	ylin kerros	putkien korko
K1	5	35	5	9,6	64	6,47	1,80	23,18 metriä	34,02	2700
K2	9	42	5	9,6	115	11,65	3,24	23,18 metriä	34,02	2700
K3	7	42	7	9,6	90	9,06	2,52	23,13 metriä	33,87	2800
K4	5	35	4	9,6	64	6,47	1,80	19,5 metriä	30,54	2500
K5	6	35	5	9,6	77	7,77	2,16	23,03 metriä	33,87	2700
K6	6	35	3	9,6	77	7,77	2,16	23,03 metriä	33,87	2700
K7	5	35	3	9,6	64	6,47	1,80	19,5 metriä	30,54	2500
K8	6	35	5	9,6	77	7,77	2,16	19,5 metriä	30,54	2500
K9	7	42	7	9,6	90	9,06	2,52	23,61 metriä	34,45	2700
K10	5	35	3	9,6	64	6,47	1,80	16,5 metriä	27,24	2800
K11	4	28	4	9,6	51	5,18	1,44	20,14 metriä	30,38	3300
K12	5	35	5	9,6	64	6,47	1,80	20,19 metriä	30,43	3300
K13	1	15	0	9,6	13	1,29	0,36	4,12 metriä	14,46	3200
K14	4	28	3	9,6	51	5,18	1,44	20,16 metriä	30,4	3300
K15	5	35	4	9,6	64	6,47	1,80	20,16 metriä	30,4	3300
K16	5	35	2	9,6	64	6,47	1,80	23,31 metriä	34,45	2400
K17	4	28	2	9,6	51	5,18	1,44	20,14 metriä	30,38	3300
K18	1	15	0	9,6	13	1,29	0,36	4,19 metriä	14,43	3300
K19	1	15	0	9,6	13	1,29	0,36	4,19 metriä	14,43	3300
K20	5	35	4	9,6	64	6,47	1,80	23,31 metriä	34,45	2400
K21	6	35	4	9,6	77	7,77	2,16	23,31 metriä	34,45	2400
K22	5	35	5	9,6	64	6,47	1,80	20,12 metriä	30,36	3300
K23	5	35	5	9,6	64	6,47	1,80	20,12 metriä	30,36	3300
K24	1	18	0	12	16	1,62	0,45	3,51 metriä	14,55	2500
K25	1	35	0	20	27	2,70	0,75	5,24 metriä	17,28	1500
K26	1	15	0	9,6	13	1,29	0,36	3,29 metriä	14,43	2400
	115				1489	150,58	41,83			

Yhden asunnon virtaama (laskettu samanaikaisuuskertoimella 0,8)	1,294382022	laskettu 60% hyötysuhteella
Yhden asunnon virtaama (laskettu varauksena)	1,294382022	laskettu 60% hyötysuhteella

Kuva 12. Nousulinjojen tarkastelu laskentatyökalulla

LINJA K23

P1 [Pa]	Längd [m]	Densitet [kg/m³]	Volymflöde [m³/s]	Strömningshastighet [m/s]	Inner diameter [mm]	λ	Re	P2 [Pa]	Tryckförlust [kPa]	Tryckförlust λ [kPa]	Tryckförlust ζ [kPa]	Tryckförlust h [kPa]
										Tryckförlust		
10375	0,65	0,73165052	0,0418	4,80	0,1053	0,0227	33640	10360	0,015	0,0012	0,0135	0,0000
10360	1,4	0,79043194	0,0418	4,80	0,1053	0,0223	36343	10323	0,037	0,0027	0,0274	0,0069
10323	0,915	0,79018693	0,0418	4,80	0,1053	0,0223	36331	10321	0,003	0,0018	0,0009	0,0000
10321	8,45	0,79016916	0,0379	4,35	0,1053	0,0229	32895	10273	0,048	0,0137	0,0344	0,0000
10273	1,27	0,78985043	0,0357	4,10	0,1053	0,0232	31009	10270	0,003	0,0019	0,0007	0,0000
10270	16,25	0,78983371	0,0230	2,64	0,1053	0,0258	19979	10251	0,020	0,0110	0,0085	0,0000
10251	7,38	0,78970421	0,0205	2,35	0,1053	0,0266	17791	10240	0,011	0,0041	0,0068	0,0000
10240	3,8	0,78963226	0,0187	2,15	0,1053	0,0272	16228	10237	0,002	0,0018	0,0005	0,0000
10237	4,25	0,78961679	0,0173	1,98	0,1053	0,0278	14980	10231	0,007	0,0017	0,0048	0,0000
10231	1,225	0,78957340	0,0155	3,02	0,0808	0,0267	17487	10229	0,002	0,0015	0,0004	0,0000
10229	3,75	0,78956139	0,0151	2,95	0,0808	0,0269	17081	10224	0,005	0,0043	0,0003	0,0000
10224	4,05	0,78953081	0,0137	2,66	0,0808	0,0276	15453	10212	0,013	0,0039	0,0087	0,0000
10212	3,675	0,78944754	0,0119	2,31	0,0808	0,0286	13418	10206	0,006	0,0028	0,0032	0,0000
10206	1,925	0,78940829	0,0093	1,82	0,0808	0,0305	10572	10205	0,001	0,0010	0,0001	0,0000
10205	6,875	0,78940110	0,0079	1,54	0,0808	0,0319	8945	10198	0,007	0,0026	0,0046	0,0000
10198	2,925	0,78935367	0,0022	1,57	0,0418	0,0385	4715	10195	0,003	0,0026	0,0001	0,0000
10195	4,75	0,78933559	0,0018	1,31	0,0418	0,0408	3929	10186	0,009	0,0031	0,0022	0,0040
10186	2,325	0,78927421	0,0018	1,31	0,0418	0,0408	3929	10162	0,024	0,0015	0,0020	0,0202
10162	2,8	0,78911659	0,0018	1,31	0,0418	0,0408	3928	10158	0,004	0,0018	0,0000	0,0025
10158	0,6	0,78908794	0,0018	1,78	0,0359	0,0389	4574	10139	0,018	0,0008	0,0001	0,0173
10139	2,7	0,78896707	0,0014	1,42	0,0359	0,0417	3658	10134	0,005	0,0025	0,0000	0,0025
10134	0,5	0,78893412	0,0014	1,42	0,0359	0,0417	3658	10116	0,018	0,0005	0,0005	0,0173
10116	2,85	0,78881316	0,0011	1,07	0,0359	0,0233	2743	10113	0,003	0,0008	0,0000	0,0025
10113	0,5	0,78879126	0,0011	1,86	0,0272	0,0419	3621	10094	0,019	0,0010	0,0008	0,0173
10094	2,85	0,78866417	0,0007	1,24	0,0272	0,0265	2413	10089	0,004	0,0017	0,0000	0,0025
10089	0,5	0,78863665	0,0004	1,79	0,016	0,0312	2051	10066	0,023	0,0012	0,0045	0,0173
10066	3,45	0,78848362	0,0004	1,79	0,016	0,0312	2051	10055	0,011	0,0085	0,0000	0,0025
10055	1	0,78841098	0,0004	1,79	0,016	0,0312	2051	10036	0,020	0,0025	0,0000	0,0173
10036		0,78827984	0,0004	1,79	0,016	0,0312	2050	10036	0,000	0,0000	0,0000	0,0000

ΔP [mbar]	l_{TOT} [m]									Linja K23 $P(\lambda)_{TOT}$ [mbar]	Linja K23 $P(\zeta)_{TOT}$ [mbar]	Linja K23 $P(h)_{TOT}$ [mbar]
3,39	93,615									0,84	1,25	1,30

Linja K23		
Painehäviö linjassa	3,39	mbar
Käyttölaitteen käyttöpaine	20	mbar

83 %

Kuva 13. Nousulinjan K23 painehäviölaskenta laskentatyökalulla.

						Tryckförlust						
P1 [Pa]	Längd [m]	Densitet [kg/m³]	Volymflöde [m³/s]	Strömningshastighet [m/s]	Inner diameter [m]	λ	Re	P2 [Pa]	Tryckförlust [kPa]	Tryckförlust λ [kPa]	Tryckförlust ζ [kPa]	Tryckförlust h [kPa]
10375	0,65	0,73165052	0,0418	4,80	0,1053	0,0229	33640	10360	0,015	0,0012	0,0135	0,0000
10360	1,4	0,73155311	0,0418	4,80	0,1053	0,0229	33636	10325	0,036	0,0026	0,0253	0,0077
10325	0,915	0,73131718	0,0418	4,80	0,1053	0,0229	33625	10322	0,003	0,0017	0,0008	0,0000
10322	8,45	0,73130047	0,0379	4,35	0,1053	0,0234	30445	10277	0,045	0,0130	0,0318	0,0000
10277	1,27	0,73100347	0,0357	4,10	0,1053	0,0237	28699	10275	0,002	0,0018	0,0006	0,0000
10275	16,25	0,73098773	0,0230	2,64	0,1053	0,0264	18490	10257	0,018	0,0104	0,0079	0,0000
10257	7,38	0,73086639	0,0205	2,35	0,1053	0,0272	16465	10247	0,010	0,0039	0,0063	0,0000
10247	3,8	0,73079926	0,0187	2,15	0,1053	0,0278	15019	10244	0,002	0,0017	0,0005	0,0000
10244	4,25	0,73078471	0,0173	1,98	0,1053	0,0284	13864	10238	0,006	0,0016	0,0044	0,0000
10238	1,225	0,73074433	0,0155	3,02	0,0808	0,0273	16185	10237	0,002	0,0014	0,0003	0,0000
10237	3,75	0,73073303	0,0151	2,95	0,0808	0,0274	15808	10232	0,004	0,0040	0,0003	0,0000
10232	4,05	0,73070417	0,0137	2,66	0,0808	0,0281	14302	10221	0,012	0,0037	0,0080	0,0000
10221	3,675	0,73062661	0,0119	2,31	0,0808	0,0292	12419	10215	0,006	0,0026	0,0029	0,0000
10215	1,925	0,73058996	0,0093	1,82	0,0808	0,0310	9784	10214	0,001	0,0009	0,0001	0,0000
10214	6,875	0,73058320	0,0079	1,54	0,0808	0,0325	8279	10207	0,007	0,0024	0,0043	0,0000
10207	2,2	0,73053905	0,0022	2,13	0,0359	0,0371	5081	10203	0,004	0,0038	0,0002	0,0000
10203	6,2	0,73051292	0,0018	1,78	0,0359	0,0391	4234	10187	0,016	0,0078	0,0037	0,0044
10187	4,09	0,73040761	0,0018	1,78	0,0359	0,0391	4234	10156	0,031	0,0051	0,0035	0,0226
10156	0,5	0,73020102	0,0018	1,78	0,0359	0,0391	4232	10153	0,003	0,0006	0,0000	0,0028
10153	3,5	0,73017856	0,0018	1,78	0,0359	0,0391	4232	10129	0,024	0,0044	0,0001	0,0193
10129	0,5	0,73002057	0,0014	1,42	0,0359	0,0418	3385	10126	0,003	0,0004	0,0000	0,0028
10126	3,5	0,72999942	0,0014	1,42	0,0359	0,0418	3385	10103	0,023	0,0030	0,0004	0,0193
10103	0,5	0,72984845	0,0011	1,07	0,0359	0,0252	2538	10100	0,003	0,0001	0,0000	0,0028
10100	3,5	0,72982918	0,0011	1,07	0,0359	0,0252	2538	10080	0,021	0,0010	0,0002	0,0193
10080	0,5	0,72969260	0,0007	1,96	0,0216	0,0228	2812	10076	0,004	0,0007	0,0000	0,0028
10076	4,925	0,72966938	0,0004	0,98	0,0216	0,0455	1406	10052	0,024	0,0036	0,0013	0,0193
10052	0,5	0,72950861	0,0004	1,79	0,016	0,0337	1898	10048	0,004	0,0012	0,0000	0,0028
10048	3,5	0,72948214	0,0004	1,79	0,016	0,0337	1897	10034	0,014	0,0086	0,0000	0,0055
10034	1	0,72938845	0,0004	1,79	0,016	0,0337	1897	10026	0,008	0,0025	0,0055	0,0000
10026												
										Linja K20	Linja K20	Linja K20
ΔP [mbar]	l_{TOT} [m]									$P(\lambda)_{TOT}$ [mbar]	$P(\zeta)_{TOT}$ [mbar]	$P(h)_{TOT}$ [mbar]
3,49	100,78									0,96	1,22	1,31
Linja K20												
Painehäviö linjassa		3,49	mbar									
Käyttölaitteen käyttöpaine		20	mbar	83 %								
Sallittu painehäviö		3,5	mbar									

Kuva 14. Linjan K20 painehäviölaskenta laskentatyökalulla